Aus der Abteilung für Zahnerhaltung
(ehem. Abteilungsvorsteher: Professor Dr. Adolf Kröncke)
des Zahnärztlichen Instituts der Universität Tübingen
Direktor: Professor Dr. Dr. Eugen Fröhlich

Vergleichende Untersuchungen über Härte, Kantenfestigkeit und Adhäsion verschiedener provisorischer Füllmaterialien

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde
einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Jörg Mutschelknauß
aus Pforzheim

1965

8301

Aus der Abteilung für Zahnerhaltung
(ehem. Abteilungsvorsteher: Professor Dr. Adolf Kröncke)
des Zahnärztlichen Instituts der Universität Tübingen
Direktor: Professor Dr. Dr. Eugen Fröhlich

Vergleichende Untersuchungen über Härte, Kantenfestigkeit und Adhäsion verschiedener provisorischer Füllmaterialien

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde
einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Jörg Mutschelknauß
aus Pforzheim

1965

UNIVERSITEITSBIBLIOTHEEK - LEIDEN -

Dekan: Professor Dr. W. SCHULTE

Referent: Professor Dr. A. KRÖNCKE
Korreferent: Professor Dr. Dr. E. FRÖHLICH

Fotodruck PRÄZIS • Tübingen

Meinen lieben Eltern
in Dankbarkeit gewidmet

INHALTSVERZEICHNIS

		Seite
I.	Einleitung und Problemstellung	1
II.	Literaturübersicht	3
III.	Material und Methoden	7
	A. Material	7
	1. Herkunft und Zusammensetzung	8
	2. Herstellung der Proben	10
	B. Härtemessungen	14
	1. Prinzip der Methode	14
	2. Vorversuche	14
	3. Standardisierung	15
	4. Ausführung der Prüfung	23
	C. Kantenfestigkeitsmessungen	24
	1. Vorversuche	24
	2. Prinzip und Ausführung der Prüfung	24
	D. Adhäsionsmessungen	25
	E. Statistische Fehlerberechnung	26
IV.	Ergebnisse	27
V.	Diskussion der Ergebnisse	46
VI.	Zusammenfassung	49
VII.	Schrifttum	52
Lebenslauf		

I. EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG

Im Rahmen einer Untersuchungsreihe über provisorische Füllmaterialien und ihre Bedeutung in der Konservierenden Zahnheilkunde soll sich die vorliegende Arbeit mit der Härte, Kantenfestigkeit und Adhäsion dieser Werkstoffe befassen.

Das Indikationsgebiet der provisorischen Füllmaterialien liegt vorwiegend darin, die Zeit zwischen Präparation einer Kavität oder eines Kronenstumpfes bis zur Versorgung zu überbrücken. Sie dienen aber auch zum Verschluß von Medikamenten, zur Separation von engstehenden Zähnen oder zur Verdrängung des Zahnfleisches, außerdem zur vorübergehenden Defektversorgung, z.B. bei Wurzelkanalbehandlungen oder bei Zähnen, die bereits mit einer Unterfüllung versehen sind.

Die an endgültige Füllungen zu stellenden Forderungen gelten in weitem Sinne auch für die provisorische Versorgung, wie bereits aus einer Zusammenstellung von MILLER (18) hervorgeht:

1. Genügende Härte, damit im Munde durch mechanische Einflüsse, keine übermäßige Abnützung hervorgerufen wird. Rasche Erhärtung.
2. Unveränderlichkeit der Form und des Volumens im Munde.
3. Unveränderlichkeit in den Mundsäften und eingeführten Nahrungsmitteln.
4. Hoher Grad von Adaptabilität (Haftintensität).
5. Geringe Empfindlichkeit gegen Feuchtigkeit.
6. Leichte Entfernbarkeit.
7. Geringe Kosten.

Wie wir gesehen haben, sind die Forderungen an provisorische Materialien denjenigen an endgültige Füllungen ähnlich, abgesehen von der geringeren Zeit der Beanspruchung. Die wenigen Tage bzw. Wochen, in denen sie den gestellten Anforderungen entsprechen sollen, setzen trotzdem eine genügende Härte, Kantenfestigkeit und Adhäsion voraus. Deshalb sollen diese Eigenschaften überprüft werden.

Besitzt das Füllmaterial eine zu geringe Härte, so kann es dem Kaudruck nicht genügend Widerstand entgegensetzen, was zu einer Entblößung und zugleich Reizung des freiliegenden Dentins, der sogenannten "Dentinwunde", und sekundär zu Reaktionen in der Pulpa führt.

Die Kantenfestigkeit ist im approximalen Bereich, besonders für einzelstehende Zähne, ein sehr wichtiger Faktor. Gerade hier ist die Erhaltung der Zähne oft von eminenter Bedeutung, da sie eventuell als Pfeiler für eine prothetische Versorgung in Frage kommen.

Für die schnelle und sichere Applikation der provisorischen Füllmaterialen ist die Adhäsion wichtig. Sie soll dahingehend untersucht werden, in welchem Grade die Füllung auf trockenem bzw. feuchtem Dentin haftet. Die Untersuchung auf feuchtem Dentin ist deshalb wichtig, weil das maximale Trocknen der Kavität mit Vorteil für die Pulpa vermieden werden sollte.

Zur experimentellen Überprüfung dieser Fragestellungen werden Mikromessungen für Härte und Kantenfestigkeit, die Adhäsionsmessungen dagegen mit einem selbstkonstruierten Gerät durchgeführt.

II. LITERATURÜBERSICHT

In der Reihenfolge der Untersuchungsfaktoren Härte, Kantenfestigkeit und Adhäsion sollen hier die bisherigen Untersuchungen und deren Ergebnisse, soweit sie unser Problem berühren, zusammenfassend dargestellt werden.

1. HÄRTE

"Härte ist der Widerstand, den ein Körper dem Eindringen eines anderen entgegensetzt" (SIEBEL (25)).
Ihre Größe hängt von der Methode ab, mit der sie gemessen wird (HODGE (10)).

Die älteste von uns gefundene Arbeit, die sich mit Härtemessungen von zahnärztlichen Zementen befaßte, datiert aus dem Jahre 1907 (KULKA (12)). Der Autor führte Ritzversuche durch, die in die MOHSsche Skala eingereiht wurden.

LINGNITZ (16) verwandte 1922 ebenfalls dieses Verfahren. Er brachte außerdem den Begriff der "Bohrfestigkeit" mit Härtemessungen in Zusammenhang. Dabei wurde mit einem Bohrer von genau bestimmter Qualität bei einer sich gleichbleibenden Umdrehungsgeschwindigkeit und stets konstantem Druck während einer bestimmten Zeiteinheit in das Material eingebohrt. Aus dem Volumen des Bohrstaubes wurde dann auf die "Bohrfestigkeit" geschlossen.

1931 stellte H.RICHTER (22) das Ritzverfahren für unser Fachgebiet in Frage. Er empfahl statt dessen die Kugeldruckprobe nach BRINELL. Neben dem Vorlastverfahren nach ROCKWELL und dem Pyramidenmeßverfahren nach VICKERS wird diese heute in der Industrie bevorzugt. Entscheidend ist nun, daß man aus der Vielzahl der Härtemeßverfahren die für das zu untersuchende Material beste auswählt.

Die beiden erstgenannten Methoden haben für die Prüfung zahnärztlicher Werkstoffe im Gegensatz zur VICKERS-Härteprüfung zwei markante Nachteile:

1. sind die Eindrücke bei einer Größenordnung von 0,8 - 1 mm ungefähr um das Zehnfache größer, was bei dem geringen Ausmaß der Probe wesentlich weniger Eindrücke zuließe,
2. liegt die Prüflast mit ca. 1,5 kp um das 80 - 100fach höher als bei der Mikrohärtemessung.

BLUME (1) hat 1954 zum ersten Mal die Mikrohärtemessung mit VICKERS-Einheiten mit dem Kleinhärteprüfer DURIMET der Firma Ernst Leitz GmbH, Wetzlar, für unsere Zwecke eingeführt.

Diese Methode, die Grundlage unserer Untersuchungen ist, hat wegen ihrer Exaktheit und relativ schnellen und sicheren Auswertbarkeit alle anderen früher angewandten Verfahren zur Härtemessung an kleinen und kleinsten Objekten verdrängt.

Auf Grund der am Zahnärztlichen Institut der Universität Tübingen gewonnenen Erfahrungen können wir uns der Meinung von BLUME (1) voll und ganz anschließen. Weiter ist es von Vorteil, die Ergebnisse in physikalischen Grundeinheiten (VICKERS-Härte HV in kp/mm^2 - E. LEITZ GmbH (15)) zu erhalten, um zwischen verschiedenen Materialien vergleichen zu können.

Im Jahre 1961 führte DIETERLE (3) Mirkohärteprüfungen durch. Er stellte zusätzlich fest, daß die Elastizität der Probe eine untergeordnete Rolle spielte.

DRESSLER (4) dagegen untersuchte drei Jahre später verschiedene Silikatzemente mit der Kugeldruckprobe nach BRINELL.

2. KANTENFESTIGKEIT

Nach STERNER-RAINER (28) wird sie folgendermaßen definiert: "Wenn die in die Kavität einzubringende Füllung nicht allseitig umschlossen ist, so wird beim Kauakt nicht nur die Oberfläche der Füllung auf Härte beansprucht, sondern deren seitlich freiliegender Teil auf Kantenfestigkeit".

KULKA (12) untersuchte (neben der Härte) im Jahre 1907 auch zum ersten Mal die Zemente auf Kantenfestigkeit. Er stellte Proben in Rechteckform her und beanspruchte sie so lange auf Biegung, bis sie brachen.

Mit einem eigens dafür konstruierten Apparat führte R. RICHTER (23) gleichartige Bestimmungen durch, indem er die Kraft maß, die notwendig war, um einen Bruch des Materials herbeizuführen.

Im Prinzip wichen BURKHARD und EFFINGER (2) 44 Jahre später nicht von den oben erwähnten Methoden ab.
Sie stellten fest, daß die einen Bruch der Probe - deren Dimensionen ungefähr der Größe einer MOD-Füllung im Molarenbereich entsprach - bewirkende Biegungsbelastung ein eindeutiges Maß für die Zugbelastung darstellte. Es heißt wörtlich: "Während der Belastung treten nämlich in der Probe zu gleichen Teilen

Zug- und Druckspannungen auf. Da aber die Druckfestigkeit dieser Proben die Zugfestigkeit bei weitem übertrifft, erfolgt der Bruch genau bei der Belastung, bei welcher die höchste in der Probe auftretende Spannung den Zugfestigkeitswert überschreitet. Diese so bestimmten Zugfestigkeiten sind im wesentlichen entscheidend für die Kantenfestigkeit der Füllung".

KNAPPWOST (11) 1954 und HATTEMER (8) 1957 schlossen sich dieser Deutung über das Vorliegen einer Mischbelastung an.

In Anlehnung an die letztgenannten Autoren führten DIETERLE (3) 1961 und DRESSLER (4) 1964 Untersuchungen auf Kantenfestigkeit durch. Dabei wurde das Dynstat-Gerät nach SCHOB, NITSCHE und SALEWSKI verwendet.

Das Prinzip unserer Methode beruhte auf der Messung der Spaltfestigkeit des Materials, obgleich HATTEMER (8) deren Zweckmäßigkeit in Frage stellte. Es ist aber nach unserem Dafürhalten zu verantworten, da es sich um vergleichende Untersuchungen von Materialien ganz verschiedener Grundcharakteristika handelte. Da die Untersuchungen mit dem Kleinhärteprüfer DURIMET erfolgten, konnte die Auswertung mikroskopisch vorgehen und es wurden damit grobe Fehlerquellen ausgeschaltet.

3. ADHÄSION

"Bestimmung des Widerstandes, den Füllmaterialien der Trennung von der Wand einer starren Kavität entgegensetzen" (PRÖLL (21)).

Die ersten Adhäsionsversuche mit Zementen, die wir in der Fachliteratur finden konnten gehen auf MORGENSTERN (20) im Jahre 1905 zurück.
Er kittete zwei Elfenbeinstäbchen, die an ihren Enden aufgerauht waren, zusammen und legte sie 24 Stunden in Wasser von 35° C. Das Material löste sich aber bei bloßer Berührung ab und so wiederholte er die Versuche nach 24stündiger trockener Lagerung. Erst danach erzielte er brauchbare Ergebnisse.

KULKA (12) kritisierte zwei Jahre später dieses Vorgehen, indem er auf die zu wenig mundähnlichen Bedingungen hinwies. Der Autor kittete Metallstifte in Einbohrungen von Elfenbeinklötzchen und nahm seine Messungen nach 6tägiger Liegezeit in Speichelflüssigkeit vor. Dabei stellte er fest, daß die Stifte samt zu untersuchendem Material bei sehr kurzer Erhärtungszeit an der Luft schon nach minimaler Belastung herausgerissen werden. Eine größere Adhäsionskraft war erst nach längerer Erhärtungszeit zu erzielen. Er machte dafür die hygroskopischen Eigenschaften des Elfenbeins verantwortlich. Damit fand sich auch

eine Erklärung für das Scheitern der ersten Versuche von MORGENSTERN (20).

Gleichartige Versuche führte 1913 PRÖLL (21) durch. Er verwandte aber statt des Elfenbeins aufgerauhtes Glas, das er für ein einwandfreies Unterlagenmaterial hielt. Nach seiner Erfahrung nimmt die Wandständigkeit durch nachträgliche Schrumpfung des Untersuchungsmaterials ab.

SPANNER (27) vertritt 1930 die Meinung, daß "Klebekraft" bei erhärteten Phosphatzementen ein falscher Ausdruck sei. Man sollte vielmehr von der "Haftintensität" sprechen, da sich das Zement in die kleinen Unebenheiten der Kavität einkralle und so das Anhaften hervorrufe. Daraus ließ sich folgern, daß es für erhärtetes Zement keine Klebekraft mehr gibt, sondern diese eine spezifische Eigenschaft von zähflüssigen Körpern darstellt.

KUNERT (13) führte 1939 Untersuchungen an zwei blank polierten Dentinplättchen, die er mit Zement zusammenkittete, durch, und maß anschließend die Abzugskraft in kg. Er stellte fest, daß dünn angerührtes Zement eine annähernd doppelt so große Adhäsion aufwies wie dick angerührtes, und bestätigte somit die Annahmen von SPANNER (27).

Die Behauptung von PRÖLL (21), die Schrumpfung wirke der Haftintensität entgegen, fand 1952 in den Meßergebnissen von LOCKOWANDT und STÜBEN (17) ihren Beweis. Sie schließen sich der Meinung von SPANNER (27) an, daß das Festhalten der Füllung in der Kavität hauptsächlich den mechanischen Kräften zugeschrieben werden muß, da der "relative Spalt" zwischen Kavität und Füllmaterial zu groß sei, um eine Adhäsionswirkung zustande kommen zu lassen.

HATTEMER und KÜBEL (9) dagegen behaupteten zwei Jahre zuvor, Adhäsion sei die Wirkung der molekularen Kräfte untereinander verschiedener Stoffe.

Ihre Meßmethode beruhte auf dem Prinzip von KUNERT (13), wobei ebenfalls zwei Dentinplättchen als Unterlage dienten, um den Mundhöhlenverhältnissen einigermaßen nahe zu kommen.

Davon gingen auch unsere Überlegungen aus, nur wurden statt Dentinplättchen glatt beschliffene Flächen extrahierter Zähne als Haftbasis verwendet.
Die Untersuchungen führten wir mit einem selbst konstruierten Gerät durch, das im nächsten Kapitel näher beschrieben wird.

III. MATERIAL UND METHODEN

A. MATERIAL

Zur Untersuchung kamen folgende Materialien*) :

AQUATIN	(Firma Roessler)
AQUA DENTIN	(Firma Woelm, Eschwege)
PLERODONT	(Firma Robisch, München)
ULTRAPHOS	(Firma Woelm, Eschwege)
ZINKOXYD-NELKENÖL	(Firma Kettenbach, Wissenbach)
CAVIT - W	(Firma Espe, Seefeld/Oberbayern)
PRO - 17	(Firma Merz, Frankfurt a/M)
GUTTAPERCHA	(De Trey, Waldshut)

*) Allen genannten Herstellern danke ich an dieser Stelle verbindlichst für die Liebenswürdigkeit, mir ihre Präparate für die vorliegenden Untersuchungen zur Verfügung zu stellen.

1. Herkunft und Zusammensetzung

a) Zinkoxysulfat-Zemente

Dazu gehören Aquatin und Aqua Dentin.
Gegen Ende des vorigen Jahrhunderts wurden sie von dem Engländer Thomas FLETCHER als "Artificial Dentine" eingeführt.

Sie bestehen heute in ihrem Pulver aus Zinkoxyd, entwässertem Zinksulfat und Mastix und in ihrer Flüssigkeit aus Wasser, Gummi arabicum oder Dextrin, Alkohol und Karbolsäure.

"Das ursprüngliche Rezept hat mannigfache Abwandlungen erfahren, im besonderen dadurch, daß die Desinfizientien, das Gummiarabicum und das Dextrin in fester Form dem Pulver beigegeben werden, so daß die Mischung mit reinem Wasser erfolgen kann und die Verwendung der besonderen Aufrührflüssigkeit fortfällt". (HÄUPL u. Mitarb. (7)). Es wird also gewöhnliches Wasser oder physiologische Kochsalzlösung verwendet, und somit kann folgende chemische Formel angenommen werden:

$$ZnO + Zn\,SO_4 + H_2O = Zn\,SO_4 + Zn\,(OH)_2$$

Beim Erhärten bildet sich also ein Zinkoxysulfat. Es können aber auch wie SCHÖNBECK (24) sagt, reine Adsorptionsverbindungen vorliegen.

Für GERLACH (5) haben die Aquadentine, außer dem Namen, nichts mit Dentin gemeinsam, da sie hydrophil sind und Medikamente absorbieren.

LAURY (14) behauptet, sie seien nichts anderes als durch Zinksulfat widerstandsfähig gemachter Gips.

b) Schnellhärtende Zinkoxyphosphat-Zemente

Hierzu gehören die Materialien Plerodont und Ultraphos.
Sie wurden Anfang dieses Jahrhunderts (Plerodont - 1916) entwickelt und ausgeliefert.

Über die genaue Zusammensetzung konnte weder aus der Fachliteratur noch von den Firmen Näheres in Erfahrung gebracht werden.
Als Hauptbestandteile kommen aber geglühtes Zinkoxyd und Phosphorsäure in Frage, jedoch mit niedriger konzentrierter Phosphorsäure als bei den echten Zinkoxyphosphat-Zementen.

GERLACH (5) hebt besonders die Tropfbarkeit, die schnelle und vollständige Erhärtung (selbst unter Speichel und Wasser) von Plerodont hervor. Letzteres wurde auch von MÖLLER (19) bestätigt, der Erhärtungsversuche unter Wasser anstellte.

c) Zinkoxyd-Nelkenöl

Die Verwendung von Eugenol allein und die Verbindung mit Zinkoxyd hat sich seit Jahrzehnten in die Zahnheilkunde eingebürgert.

Das Pulver besteht aus geglühtem Zinkoxyd, das als sogenanntes Zink-Weiß in den Handel kommt.

Das Nelkenöl ist das aus Blütenknospen und Blättern von Jambos caryophyllus ausgepreßte Öl und wird frisch destilliert. Die einzelnen Bestandteile sind nach Untersuchungen von SOBKOWIAK (26): 70 - 80 % Eugenol, 2 - 3 % Azeteugenol, Caryophyllen, etwas Essigsäure, Methylalkohol, Furfurol, Methylamylketon und Vanillien. Der Hauptbestandteil Eugenol ist bekanntlich ein Phenolabkömmling mit schwach saurer Reaktion: des 4 - Allylbrenzcatechin - 2 - Methyläther.

Untersucht wurde hier das Zinkoxyd-Nelkenöl. Nach HÄUPL (6) kann die Abbindezeit, die er mit 10 Minuten angegeben hat, durch Zusatz von Zinkazetat und Aluminiumnitrat beschleunigt werden.

GERLACH (5) zieht das Material den Zinkoxysulfaten vor, da die hydrophilen Eigenschaften nicht so stark ausgeprägt sind.

d) Plastische Fertigpräparate

Die Auslieferung von Cavit erfolgte zum ersten Mal im Jahre 1948. Cavit ist auf Kunststoffbasis und unter Verwendung von Alginaten mit verschiedenen Zusätzen hergestellt (HÄUPL u. Mitarb. (7)).

Die Firma Espe teilte uns die genaue Zusammensetzung wie folgt mit: Zinkoxyd, Zinksulfat, Calciumsulfat, Glykolazetat, Triäthanolamin, Polyvinyl- und Polyvinylchloridazetat, sowie verschiedene Farbstoffe.

Über Pro-17 konnte leider nichts in Erfahrung gebracht werden. Es wird aber angenommen, daß es auf einer ähnlichen Basis hergestellt wird.

e) Guttapercha

BENNETT führte 1847 Guttapercha als Füllmaterial in die Zahnheilkunde ein.

1848 bringt HILL Guttapercha als Hills-Stopping, das Ätzkalk, fein pulverisiertes Quarz und Feldspat enthält, in den Handel.

Nach HÄUPL (6) werden der reinen Guttapercha Zinkoxyd oder Schlämmkreide als Füllstoffe und gewisse Harze als Kohäsionsstoffe beigefügt. Je nach den Zusätzen sollen verschiedene Härtegrade erreicht werden. Die gebräuchlichsten Handelsformen sind Platten, Stangen und Pellets.

"Bei etwa 50° C wird sie plastisch und läßt sich mit geeigenten Instrumenten gut in die trockene Kavität stopfen. Keinesfalls darf Guttapercha überhitzt werden, da sie dadurch porös und bröckelig wird" (WANNENMACHER (29)).

2. Herstellung der Proben

Bei der Herstellung der Proben ist vor allem zu beachten, daß sie in Form, Größe und Beschaffenheit in einem möglichst praxisnahen Bereich bleiben. Sie sollen demnach annähernd die Form einer Zahnkavität besitzen, außerdem so klein wie möglich gehalten werden, was aber experimentell im Hinblick auf schnelles und exaktes Stopfen sehr schwierig ist. Auch die Beschaffenheit des Materials, wenigstens was die Härte angeht, soll eine gewisse Parallelität zum Dentin bilden.

Als Kavitätenmaterial für die Härtemessungen diente eine Plexiglasplatte mit einer Länge von 55 mm, einer Breite von 35 mm, und einer Dicke von 10 mm.

In 5 mm-Abständen waren 15 kreisrunde Kavitäten mit einem Durchmesser von 5 mm und der Tiefe von 3 mm eingebohrt. Die Kavitäten hatten also die Form eines Zylinders (s. Abb. 1a und 1b).

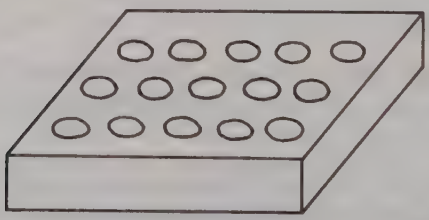

Abb. 1a

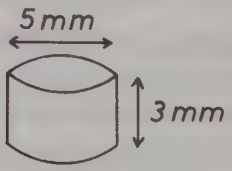

Abb. 1b

Abb. 1a Plexiglasplatte mit eingebohrten Kavitäten
Abb. 1b Form und Ausmaß einer einzelnen Kavität

Für die Messungen der Kantenfestigkeit kam als Material ebenfalls eine Plexiglasplatte der gleichen Größe in Frage. Um die Gegebenheiten einer approximalen Fläche nachzubilden, wurden an allen vier Seiten am Rande der

Platte in 5-mm-Abständen halbkreisförmige Kavitäten, mit einem Radius von 2,5 mm und einer Tiefe von 3 mm eingebohrt. Die Kavitäten hatten also die Form eines halbierten Zylinders. (s. Abb. 2a und 2b).

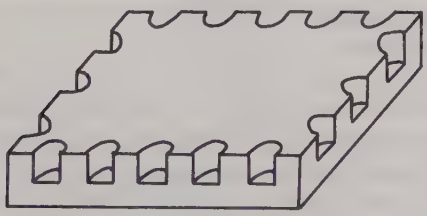

Abb. 2a

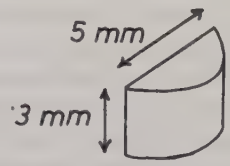

Abb. 2b

Abb. 2a Plexiglasplatte mit kantenfreien Kavitäten
Abb. 2b Form und Ausmaß einer einzelnen Kavität

Um eine glatte Oberfläche bzw. eine scharfe Kante zu erzielen, wurde ein einseitig abgewinkeltes Messingblech verwendet, das genau auf die Plexiglasplatte paßte. Dieses wurde eine Minute nach Erhärtung des Materials nach der Seite abgezogen, um ein eventuelles Kleben zu vermeiden (s. Abb. 3).

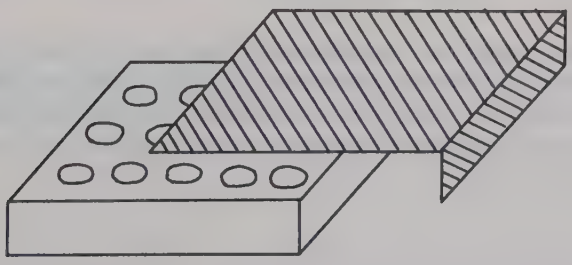

Abb. 3 Messingblech, das für die Plexiglasplatte genormt ist

Zu den Adhäsionsversuchen wurden Zähne verwendet, die nicht länger als acht Tage extrahiert waren. Die Zähne wurden in einem Stentsblock von genormter Größe fixiert, mit einem Drimmer bis zu einer genügend großen, intakten Dentinfläche grob beschliffen und mit einer Nylonscheibe sorgfältig geglättet.
Die Zähne für die Messungen auf feuchtem Dentin lagen drei Tage in physiologischer Kochsalzlösung, diejenigen für die Messungen auf trockenem Dentin drei Tage zum Trocknen an der Luft.
Als Gegenstück zur Aufnahme des Untersuchungsmaterials kam ein Kupferring Größe 18, also mit der Grundfläche von 25,75 mm^2, zur Anwendung, in den ein Loch mit einem Rosenbohrer der Größe 2 gebohrt wurde, um dem überschüssig gestopften Material einen Abfluß zu bieten. Außerdem war 1 cm von der dem Zahn zugewandten Seite des Kupferrings eine Markierung für die Aufhängung der Adhäsionsprobe angebracht.

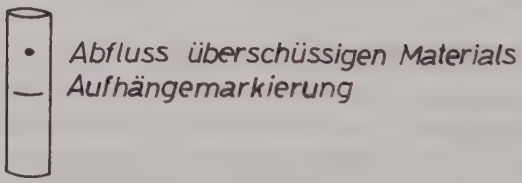

Abb. 4 Kupferring, für die Aufnahme des Untersuchungsmaterials präpariert

Zum Stopfen wurde der Stentsblock mit dem Zahn in einen Schraubstock gespannt, der Kupferring mit dem Untersuchungsmaterial im Überschuß gefüllt, die obere Öffnung mit einer Platte verschlossen und unter leichtem Druck auf den Zahn gepreßt. Das überschüssige Material wurde entfernt (s. Abb. 5).

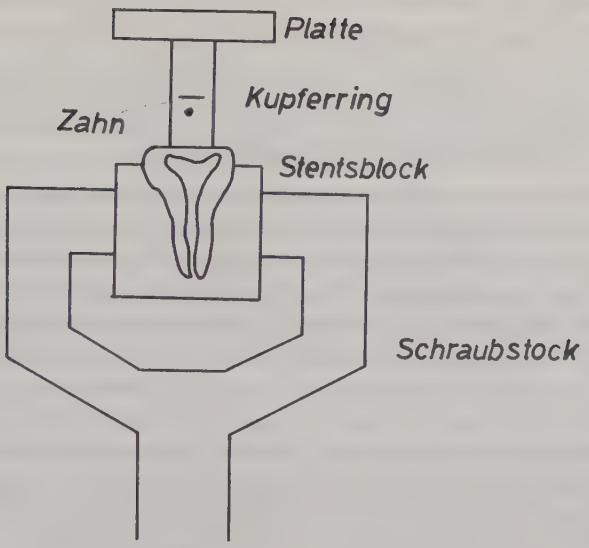

Abb. 5 Anordnung zum Stopfen des Materials auf die beschliffene Dentinfläche des Zahnes

Alle Proben wurden bei Zimmertemperatur von 20° C ± 3° C und einer relativen Luftfeuchtigkeit von 65 % ± 10 % hergestellt.
Beim Stopfen wurde ein ungefähr der klinischen Praxis entsprechender Druck ausgeübt.

Nach dem Stopfen lagen die Plexiglasplatten bzw. die Zähne mit dem Kupferring 24 Stunden im wasserdampfgesättigten Brutschrank bei 37° C bzw. an der Luft bei 20° C ± 3° C.

B. HÄRTEMESSUNGEN

1. Prinzip der Methode

Die Prüfung der Härte wurde mit dem Kleinhärteprüfer DURIMET der Firma Ernst Leitz GmbH, Wetzlar, nach Prüfblatt (Din 50 153) durchgeführt. Dieses Gerät ist für unsere Messungen geeignet (Blume (1)).

Ein Prüfdiamant in Pyramidenform senkt sich in einer bestimmten Zeiteinheit, die durch eine Ölbremse gesteuert wird, und mit einer bestimmten Belastung (Prüfgewicht) je nach Härte des Materials auf den Probekörper herab. Die Variabilität der Belastungsgröße ist sehr wichtig, da von ihr und der horizontalen Lagerung des Gerätes, die durch eine Dosenlibelle mit der Empfindlichkeit 1 : 1 000 = 3' festzulegen ist, abhängt, ob der Diamanteindruck in der Aufsicht quadratisch und scharf abgezeichnet ist. Der Spitzenwinkel des Diamanten beträgt 136°. Da in Aufsicht eine Messung in die Tiefe nicht möglich ist, wird von der Eindruckdiagonalen auf die Tiefe des Eindrucks geschlossen. Also wird die zu messende Größe zu einem in horizontaler Richtung liegenden Maß in Beziehung gesetzt. Demnach sind die Eindruckdiagonalen bei einem bestimmten Prüfgewicht umgekehrt proportional zur Härte des Objekts, d.h. je kleiner die Diagonale, desto größer die Härte und umgekehrt.

Die Härte des zu messenden Objektes wurde in VICKERS-Einheiten bestimmt, wobei der Mittelwert der beiden Eindruckdiagonalen gebildet werden muß (E. LEITZ GmbH (15)).

Man kann die VICKERS-Härte dann nach folgender Formel berechnen:

$$HV = \frac{1854 \times P}{d^2}$$

HV = VICKERS-Härte in kg/mm^2
P = Prüfkraft in Pond
d = Länge der Eindruckdiagonalen in μ
1854 = Proportionalitätskonstante

2. Vorversuche

Es wurde festgestellt, daß die eigentliche Objektbeleuchtung eine Niedervoltlampe 8V-o,6A, nicht ausreichte, um die Diamanteindrücke sichtbar zu machen. Deshalb wurde wie vorgeschlagen (E. LEITZ GmbH (15)) die Schutzhülse des Meßobjektives abgenommen, um den Lichtdurchtritt zu ermöglichen

und ein Schlaglicht als Zusatzbeleuchtung hinzugezogen.

Als weitere Schwierigkeit ergab sich, daß die durchweg sehr helle, nahezu weiße Oberfläche der Materialien wegen der dadurch hervorgerufenen starken Reflektion den Eindruck nicht sichtbar werden ließ. Diese wurde unterbunden durch leichtes Anfärben sämtlicher Proben mit Methylenblau.

Der Bereich für die Prüfkraft lag zwischen 15 - 40 p. Hier waren die Eindrücke scharf abgezeichnet und gut meßbar, während sie sich bei höherer Belastung sehr unterschiedlich und verwaschen zeigten.

Die Ablaufdauer des Diamanten betrug ca. 15 Sekunden. Als Mindestruhezeit wird von der Firma E. LEITZ GmbH 10 Sekunden vorgeschrieben. In unseren Messungen wurde die Mindestruhezeit auf 15 Sekunden erhöht. Die gesamte Ablauf- und Ruhezeit betrug somit 30 Sekunden, was jeweils mit der Stoppuhr kontrolliert wurde.

3. Standardisierung

Fünf der insgesamt acht untersuchten Materialien bestehen aus Pulver und Flüssigkeit, sie müssen demnach vor der Verarbeitung angemischt werden.

Diese fünf Materialien sind in der Reihenfolge ihrer Untersuchung:
Aquatin, Aqua Dentin, Plerodont, Ultraphos und ZnO-Nelkenöl.

Leider gibt es bis heute in Deutschland keine allgemein gültigen Prüfungsnormen für zahnärztliche Werkstoffe. WEIKART (31) machte auf diesem Gebiet Vorschläge, die aber nicht aufgegriffen wurden. Er gab aber allgemeine Richtlinien für das Anmischen von Zementen, die auch für provisorische Füllmaterialien gelten:

1. Gleiches Mischverhältnis von Pulver und Flüssigkeit,
2. gleiche Anmischtechnik,
3. gleiche Anmischverarbeitungszeit,
4. Anmischen bei gleicher Temperatur (20°) und gleicher relativer Luftfeuchtigkeit (33 - 75 %).

Das Anmischen ist auf einer vollkommen trockenen und sauberen Thermoanmischplatte vorzunehmen.

Diese Bedingungen wurden bei unseren Versuchen erfüllt. Dazu kam noch, daß zum Anmischen ein doppelendiger Spatel verwendet wurde, wobei mit dem einen Ende das Pulver mit der Flüssigkeit in Kontakt gebracht wurde und mit dem anderen Spatelende das Anmischen selbst erfolgte.

Für die Materialien Aquatin, Aqua Dentin, Plerodont und Ultraphos wurden zur Festlegung einer Standardkonsistenz jeweils 150 Messungen durchgeführt, für Zinkoxyd-Nelkenöl nur 120 Messungen, da sich hier der geringere Unterschied der im einzelnen verwendeten Flüssigkeitsmenge in einem größeren Mischungsverhältnis ausdrückte. Die Mengen wurden mit einer Analysenwaage der Firma E. METTLER, Zürich gewogen.

Die Pulvermenge blieb jeweils gleich, während wir die Flüssigkeitsmenge in gleichem Maß variierten.

Fünf verschiedene Mischungsverhältnisse wurden für jedes Material herangezogen, mit jedem wurden drei Plexiglaskavitäten gefüllt.

An jeder Kavität wurden 10 Härtemessungen durchgeführt, das arithmetische Mittel der Einzelwerte von jeder Kavität ermittelt und daraus die VICKERS-Härte errechnet.

Die Konsistenz mit den größten Härtewerten wurde als Standard genommen und fand auch für die Untersuchung der Kantenfestigkeit und Adhäsion Verwendung.

(Näheres siehe Tabellen im Anhang).

ANHANG

Die Ergebnisse sind in der aufgeführten Reihenfolge der Materialien angegeben.

Anmischung des zu untersuchenden Materials mit verschiedenen Mischungsverhältnissen (Pulver : Flüssigkeit).

Die jeweilige Mischung mit dem größten Härtewert (HV) wird als Standardkonsistenz für alle weiteren Untersuchungen des betreffenden Materials verwendet.

Gilt für Tabelle 1a - e.

Tab. 1a Aquatin (Ermittlung der härtesten Konsistenz)

Kavität Nr.	Mischungsverhältnis (Pulver : Flüssigkeit)	N	Durchschn. Werte HV
1	1 : 0,625	10	12,085
2	1 : 0,625	10	13,137
3	1 : 0,625	10	12,216
4	1 : 0,56	10	12,085
5	1 : 0,56	10	11,582
6	1 : 0,56	10	11,402
7	1 : 0,50	10	14,108
8	1 : 0,50	10	13,347
9	1 : 0,50	10	13,389
10	1 : 0,43	10	16,069
11	1 : 0,43	10	16,315
12	1 : 0,43	10	17,160
13	1 : 0,37	10	22,149
14	1 : 0,37	10	21,261
15	1 : 0,37	10	24,067

Größter Härtewert

für Aquatin bei 30 Einzelmessungen mit dem Mischungsverhältnis 1 : 0,37 (Pulver : Flüssigkeit):

HV = 24,067

Graphische Darstellung: Abb. 7

Tab. 1b Aqua Dentin (Ermittlung der härtesten Konsistenz)

Kavität Nr.	Mischungsverhältnis (Pulver : Flüssigkeit)	N	Durchschn. Werte HV
1	1 : 0,87	10	3,165
2	1 : 0,87	10	3,167
3	1 : 0,87	10	4,004
4	1 : 0,81	10	4,030
5	1 : 0,81	10	4,031
6	1 : 0,81	10	4,007
7	1 : 0,75	10	4,069
8	1 : 0,75	10	4,048
9	1 : 0,75	10	4,070
10	1 : 0,69	10	5,026
11	1 : 0,69	10	5,013
12	1 : 0,69	10	5,014
13	1 : 0,625	10	6,002
14	1 : 0,625	10	6,001
15	1 : 0,625	10	6,008

Größter Härtewert

für Aqua Dentin bei 30 Einzelmessungen mit dem Mischungsverhältnis 1 : 0,625 (Pulver : Flüssigkeit):

HV = 6,008

Graphische Darstellung: Abb. 7

Tab. 1c Plerodont (Ermittlung der härtesten Konsistenz)

Kavität Nr.	Mischungsverhältnis (Pulver : Flüssigkeit)	N	Durchschn. Werte HV
1	1 : 0,75	10	14,197
2	1 : 0,75	10	13,355
3	1 : 0,75	10	13,278
4	1 : 0,69	10	18,315
5	1 : 0,69	10	18,124
6	1 : 0,69	10	17,275
7	1 : 0,625	10	22,814
8	1 : 0,625	10	22,117
9	1 : 0,625	10	21,202
10	1 : 0,56	10	24,845
11	1 : 0,56	10	24,103
12	1 : 0,56	10	23,203
13	1 : 0,50	10	29,176
14	1 : 0,50	10	29,087
15	1 : 0,50	10	29,207

Größter Härtewert

für Plerodont bei 30 Einzelmessungen mit dem Mischungsverhältnis 1 : 0,50 (Pulver : Flüssigkeit):

HV = 29,207

Graphische Darstellung: Abb. 7

Tab. 1d Ultraphos (Ermittlung der härtesten Konsistenz)

Kavität Nr.	Mischungsverhältnis (Pulver : Flüssigkeit)	N	Durchschn. Werte HV
1	1 : 0,81	10	16,223
2	1 : 0,81	10	16,311
3	1 : 0,81	10	16,143
4	1 : 0,75	10	23,195
5	1 : 0,75	10	23,236
6	1 : 0,75	10	22,253
7	1 : 0,69	10	29,064
8	1 : 0,69	10	29,192
9	1 : 0,69	10	29,073
10	1 : 0,625	10	50,035
11	1 : 0,625	10	50,112
12	1 : 0,625	10	52,068
13	1 : 0,56	10	42,095
14	1 : 0,56	10	42,092
15	1 : 0,56	10	40,023

Größter Härtewert

für Ultraphos bei 30 Einzelmessungen mit dem Mischungsverhältnis 1 : 0,625 (Pulver : Flüssigkeit):

HV = 52,068

Graphische Darstellung: Abb. 7

Tab. 1e Zinkoxyd-Nelkenöl (Ermittlung der härtesten Konsistenz)

Kavität Nr.	Mischungsverhältnis (Pulver : Flüssigkeit)	N	Durchschn. Werte HV
1	1 : 0,114	10	1,023
2	1 : 0,114	10	1,022
3	1 : 0,114	10	1,021
4	1 : 0,100	10	1,033
5	1 : 0,100	10	1,027
6	1 : 0,100	10	1,095
7	1 : 0,088	10	1,077
8	1 : 0,088	10	1,079
9	1 : 0,088	10	1,095
10	1 : 0,080	10	2,007
11	1 : 0,080	10	2,010
12	1 : 0,080	10	2,018

Größter Härtewert

für Zinkoxyd-Nelkenöl bei 30 Einzelmessungen mit dem Mischungsverhältnis 1 : 0,080 (Pulver : Flüssigkeit):

HV = 2,018

Graphische Darstellung: Abb. 7

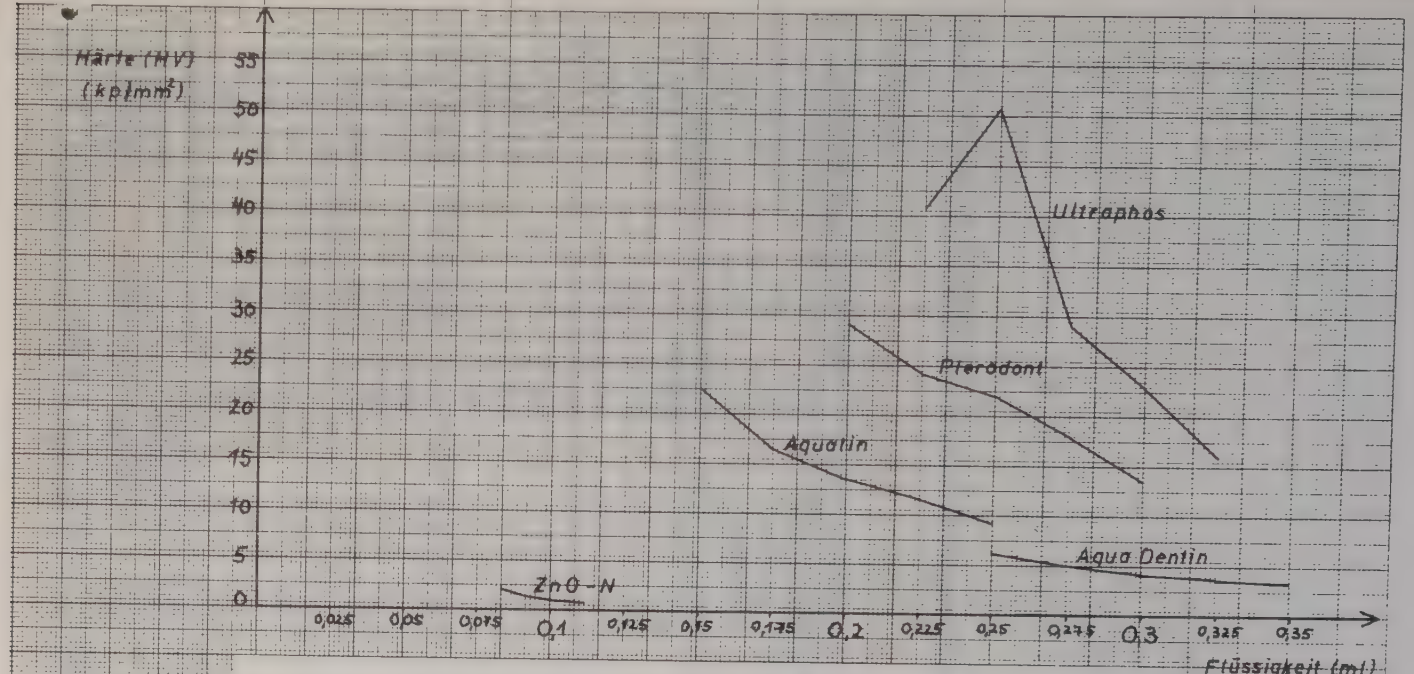

Abb. 7 Standardisierung

Härtemessungen mit verschiedenen Mischungsverhältnissen zur Bestimmung der härtesten Konsistenz.

Zusammenfassend sagen die Tabellen und graphischen Darstellungen folgendes aus:

Bei den Materialien Aquatin, Aqua Dentin, Plerodont und Zinkoxyd-Nelkenöl stieg die Härte (HV) mit abnehmender Flüssigkeitsmenge an.

Eine gewisse Ausnahme bildete Ultraphos, dessen Härtewerte bei Verringerung der Flüssigkeitsmenge zunächst stiegen, bei weiterer Abnahme aber wieder fielen. Dazu muß erwähnt werden, daß letztere Konsistenz kaum noch tropfbar, also auch schlecht zu verarbeiten war. Was die oben angeführten Materialien anging, waren deren härteste Konsistenz sehr gut zu verarbeiten.

4. Ausführung der Prüfung

Mit den in der Standardisierung gewonnenen Konsistenzen der untersuchten 5 Materialien wurden jeweils 5 Kavitäten gestopft und auf jede 10, also zusammen 50 Messungen durchgeführt, mit der Standardisierung insgesamt 80 Messungen.

Für Guttapercha, Cavit-W und Pro-17 wurden jeweils 8 Kavitäten gestopft und pro Kavität 10 Werte bestimmt, um ebenfalls die Vergleichszahl 80 zu erreichen.

Aus dem arithmetischen Mittel der Einzelwerte jeder Kavität errechnete sich dann wiederum die durchschnittliche VICKERS-Härte.

Die Größe der Kavität ließ im Vergleich zur Größe des Diamanteindrucks ohne weiteres 10 Messungen zu. Dabei beachteten wir, daß die Abstände der Mittelpunkte zweier Eindrücke wenigstens 3 Diagonallängen betrug, um Ungenauigkeiten, die durch Verformung der Oberfläche des Materials auftreten können, auszuschalten. Mit der Verteilung der Eindrücke auf die gesamte Oberfläche war eine objektive und gleichmäßige Beurteilung der Härte der Materialien gewährt.

Für Guttapercha, Cavit-W und Zinkoxyd-Nelkenöl genügte die Prüfkraft 15 p, während Aquatin, Aqua Dentin, Plerodont und Ultraphos mit 40 p belastet werden konnten. Pro-17 lag unterhalb des meßbaren Bereichs von 15 p.

C. KANTENFESTIGKEIT

1. Vorversuche

Die Messungen erfolgten ebenfalls mit dem Kleinhärteprüfer DURIMET der Firma Ernst Letz GmbH, Wetzlar.

Die äußeren Bedingungen waren dieselben. Eine Messung mit dem Meßobjektiv (40x) war nicht möglich, da sich hierbei der Kavitätenrand zu unscharf und gezackt abzeichnete. Deshalb wurde das Übersichtsobjektiv (10x) benutzt, was aber ohne weiteres zu vertreten ist, denn als Ergebnisse sollten nur relative Vergleiche gelten.

Die Plexiglasplatte mußte wie empfohlen (E. LEITZ GmbH (15) an der jeweilig entgegengesetzten Seite mit einer Klammer befestigt werden, um ein Kippen und damit Ungenauigkeiten, auszuschalten.

2. Prinzip und Ausführung der Prüfung

Der Mittelpunkt des 1. Diamanteindrucks lag für alle Materialien 200 µ vom Kavitätenrand entfernt. Die weiteren Eindrücke erfolgten von hier aus im gleichen Abstandvon 2,5 µ in Richtung zum Kavitätenrand.
Die Entfernung vom Kavitätenrand bis zu der Stelle, an der das Material abbrach, wurde tabellarisch festgehalten.

Bei Guttapercha, die nicht brach, wurde die Ausdehnung vom ursprünglichen Kavitätenrand nach außen gemessen, wobei der Mittelpunkt des letzten Eindruckes 25 µ vor demselben lag.

Von jedem Material wurden 12 Kavitäten in der Standardkonsistenz gestopft.

Jeweils 24 Stunden lang lagen 6 Proben im Brutschrank und die gleiche Anzahl an der Luft.

An jeder Kavität erfolgten 10, insgesamt also für jedes Material 120 Messungen.

Die Belastung für alle Versuche und Materialien betrug 100 p, die Ablauf- und Ruhezeit, den Härtemessungen entsprechend, 30 Sekunden.

D. ADHÄSIONSMESSUNGEN

Der in den Stentsblock eingebettete Zahn wurde in der Klemmvorrichtung eines Stativs so fixiert, daß die Zahnachse senkrecht zur Abrißrichtung lag.

Ein Gefäß mit einem Auslaufhahn war mit Sand gefüllt und diente als Gewichtsvariante.

An der Markierung des Kupferringes war eine Aufhängevorrichtung angebracht, in die, je nach Abzugskraft, die nötige Sandmenge eingefüllt wurde.
Die jeweils verbrauchte Sandmenge bis zum Abriß wurde ausgewogen (s. Abb. 6).

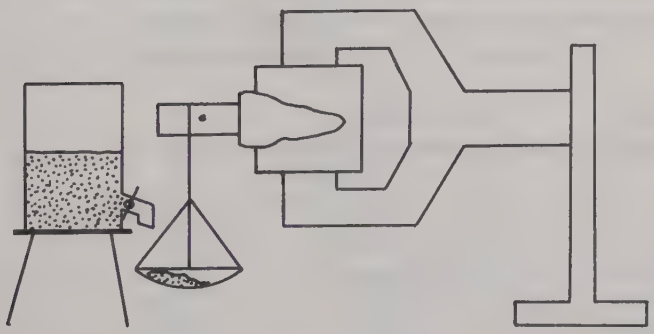

Abb. 6 Versuchsanordnung zum Abriß des Kupferringes von der beschliffenen Dentinfläche des Zahnes.

Für jedes Material wurden 30 Messungen angestellt, davon waren 10 Proben auf feuchtes und 10 auf trockenes Dentin gestopft.

Weiterhin wurden die Versuche nach 24stündiger Liegezeit im Brutschrank bzw. an der Luft durchgeführt.

E. STATISTISCHE FEHLERBERECHNUNG

1. Allgemeines

Das Untersuchungsmaterial wird als Stichprobe einer Grundgesamtheit gleichartiger Prüfungen aufgefaßt, so daß sich das arithmetische Mittel der Stichprobe bei größer werdender Zahl der Einzelwerte ständig dem arithmetischen Mittelwert der Grundgesamtheit annähert. Dabei gibt die Standardabweichung des Mittelwertes die Grenzen an, innerhalb derer das arithmetische Mittel der Grundgesamtheit zu suchen wäre.

Symbole:

N	=	Zahl der Einzelwerte
$N - 1$	=	n, Freiheitsgrad
x_i	=	Einzelwert ($x_1 + x_2 + x_3 \ldots$ usw.)
$S\bar{x}$	=	Standardabweichung des Mittelwertes

2. Standardabweichung des Mittelwertes

$$S\bar{x} = \pm \sqrt{\frac{Ex_i^2 - \bar{x}\, Ex_i}{N(N-1)}}$$

3. Auf die Anwendung des t-Testes zur Prüfung der Differenzen zwischen Gruppenergebnissen kann in den vorliegenden Untersuchungen verzichtet werden, da die verschiedenen Materialien eindeutig unterschiedliche Ergebnisse zeigen.

IV. ERGEBNISSE

Wir wollen unsere Ergebnisse in derselben Reihenfolge angeben, wie sie in der Problemstellung aufgeführt sind:

1. HÄRTEVERGLEICH

Tab. 2a Aquatin (Durchschnittlicher Härtewert)

In dieser Tabelle wurden die 30 Einzelmessungen aus der Standardisierung (Kavität Nr. 6 - 8) mit dem Mischungsverhältnis 1 : 0,37 übernommen und durch weitere 50 Messungen ergänzt.

Kavität Nr.	N	Durchschn. Größe der Eindrücke in µ (bei P = 40 p)	Durchschn. Werte HV
1	10	61,97	19,120
2	10	62,83	18,315
3	10	62,73	18,333
4	10	62,41	19,015
5	10	62,25	19,053
6	10	57,45	22,149
7	10	58,37	21,261
8	10	55,33	24,067

Durchschnittlicher Härtewert

für Aquatin bei 80 Einzelmessungen mit dem Mischungsverhältnis 1 : 0,37:

HV = 20,164

Seine Standardabweichung: $S_{\bar{x}} = \pm 0,551$

Graphische Darstellung: Abb. 8

Tab. 2b Aqua Dentin (Durchschnittlicher Härtewert)

In diese Tabelle wurden die 30 Einzelmessungen aus der Standardisierung (Kavität Nr. 6 - 8) mit dem Mischungsverhältnis 1 : 0,625 übernommen und durch weitere 50 Messungen ergänzt.

Kavität Nr.	N	Durchschn. Größe der Eindrücke in µ (bei P = 40 p)	Durchschn. Werte HV
1	10	109,95	6,016
2	10	109,32	6,025
3	10	109,32	6,025
4	10	110,29	6,012
5	10	109,73	6,020
6	10	111,01	6,002
7	10	111,46	6,002
8	10	110,52	6,009

Durchschnittlicher Härtewert

für Aqua Dentin bei 80 Einzelmessungen mit dem Mischungsverhältnis 1 : 0,625:

HV = 6,014

Seine Standardabweichung: $S_{\bar{x}} = \pm 0,071$

Graphische Darstellung: Abb. 8

Tab. 2c Plerodont (Durchschnittlicher Härtewert)

In diese Tabelle wurden die 30 Einzelmessungen aus der Standardisierung (Kavität Nr. 6 - 8) mit dem Mischungsverhältnis 1 : 0,50 übernommen und durch weitere 50 Messungen ergänzt.

Kavität Nr.	N	Durchschn. Größe der Eindrücke in µ (bei P = 40 p)	Durchschn. Werte HV
1	10	49,45	30,080
2	10	49,94	29,193
3	10	48,80	31,034
4	10	48,56	31,106
5	10	48,65	31,079
6	10	49,98	29,176
7	10	50,27	29,087
8	10	49,86	29,207

Durchschnittlicher Härtewert

für Plerodont bei 80 Einzelmessungen mit dem Mischungsverhältnis 1 : 0,50:

HV = 29,994

Seine Standardabweichung: $S_{\bar{x}} = \pm 0,356$

Graphische Darstellung: Abb. 8

Tab. 2d Ultraphos (Durchschnittlicher Härtewert)

In diese Tabelle wurden die 30 Einzelmessungen aus der Standardisierung (Kavität Nr. 6 - 8) mit dem Mischungsverhältnis 1 : 0,625 übernommen und durch weitere 50 Messungen ergänzt.

Kavität Nr.	N	Durchschn. Größe der Eindrücke in µ (bei P = 40 p)	Durchschn. Werte HV
1	10	39,83	46,118
2	10	38,54	49,137
3	10	39,31	47,153
4	10	39,72	47,000
5	10	39,36	47,135
6	10	38,42	50,035
7	10	38,22	50,112
8	10	37,59	52,068

Durchschnittlicher Härtewert

für Ultraphos bei 80 Einzelmessungen mit dem Mischungsverhältnis 1 : 0,625:

HV = 48,595

Seine Standardabweichung: $S_{\bar{x}} = \pm 0,718$

Graphische Darstellung: Abb. 8

Tab. 2e Zinkoxyd-Nelkenöl (Durchschnittlicher Härtewert)

In diese Tabelle wurden die 30 Einzelmessungen aus der Standardisierung (Kavität Nr. 6 - 8) mit dem Mischungsverhältnis 1 : 0,080 übernommen und durch weitere 50 Messungen ergänzt.

Kavität Nr.	N	Durchschn. Größe der Eindrücke in µ (bei P = 15 p)	Durchschn. Werte HV
1	10	113,86	2,019
2	10	113,71	2,020
3	10	113,87	2,019
4	10	113,71	2,020
5	10	112,27	2,026
6	10	116,61	2,006
7	10	115,82	2,010
8	10	113,98	2,018

Durchschnittlicher Härtewert

für Zinkoxyd-Nelkenöl bei 80 Einzelmessungen mit dem Mischungsverhältnis 1 : 0,80:

HV = 2,013

Seine Standardabweichung: $S_{\bar{x}} = \pm 0,092$

Graphische Darstellung: Abb. 8

Tab. 2f Cavit - W (Durchschnittlicher Härtewert)

Untersuchung des plastischen Materials in der Tube.

Kavität Nr.	N	Durchschn. Größe der Eindrücke in µ (bei P = 15 p)	Durchschn. Werte HV
1	10	115,10	2,013
2	10	114,55	2,016
3	10	115,96	2,014
4	10	115,13	2,013
5	10	115,03	2,013
6	10	115,22	2,013
7	10	116,10	2,009
8	10	114,37	2,017

Durchschnittlicher Härtewert

für Cavit W bei 80 Einzelmessungen:

HV = 2,013

Seine Standardabweichung: $S_{\bar{x}} = \pm 0,037$

Graphische Darstellung: Abb. 8

Pro - 17 konnte tabellarisch nicht festgehalten werden, da sich in dem Material keine meßbaren Eindrücke abzeichneten.

Tab. 2g Guttapercha (Durchschnittlicher Härtewert)

Zur Untersuchung kam weiße Stangen-Guttapercha, die vor der Verarbeitung mäßig erwärmt wurde.

Kavität Nr.	N	Durchschn. Größe der Eindrücke in µ (bei P = 15 p)	Durchschn. Werte HV
1	10	152,51	1,046
2	10	152,40	1,046
3	10	151,32	1,049
4	10	151,69	1,048
5	10	153,71	1,042
6	10	151,56	1,049
7	10	152,01	1,047
8	10	150,98	1,050

Durchschnittlicher Härtewert

für Guttapercha bei 80 Einzelmessungen:

HV = 1,047

Seine Standardabweichung: $S_{\bar{x}} = \pm 0,005$

Graphische Darstellung: Abb. 8

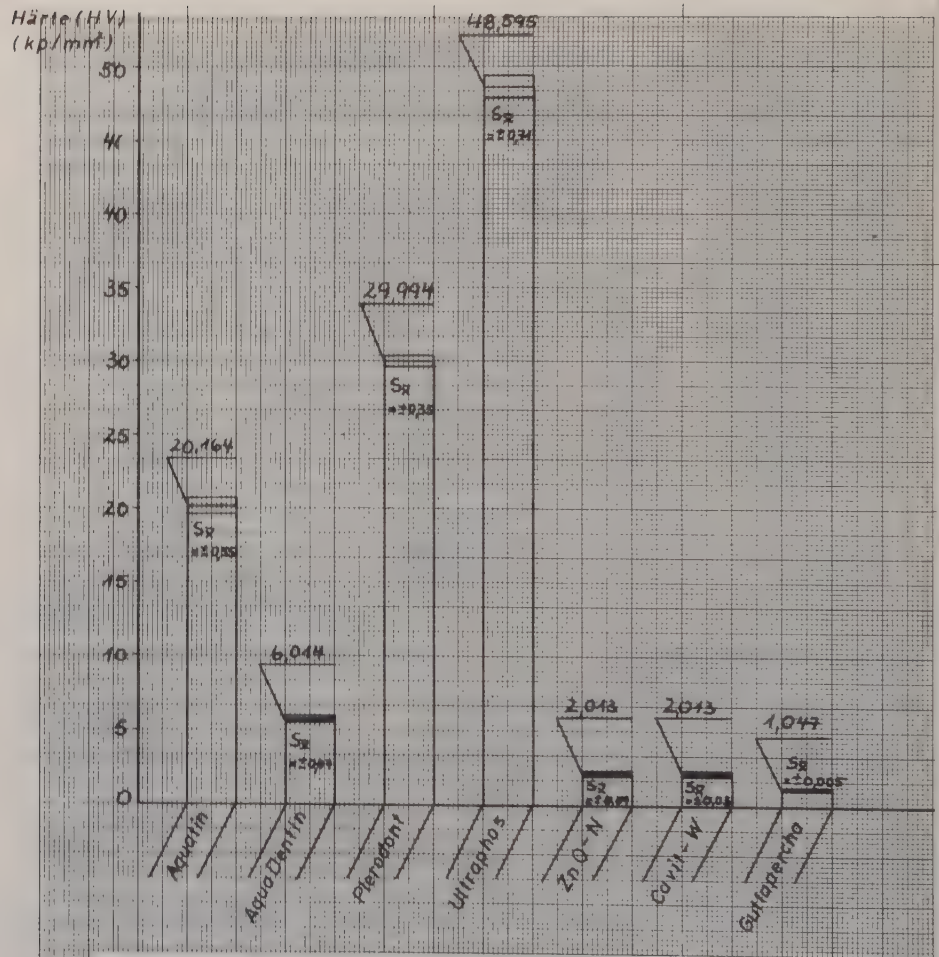

Abb. 8 Härtevergleich

Durchschnittliche Härtewerte mit ihren Standardabweichungen aus jeweils 80 Einzelmessungen für jedes Material.

2. KANTENFESTIGKEITSVERGLEICH

Festlegung der Werte durch den Abstand des Einbruches vom freien Kavitätenrand in µ (Kantenabstand).
Gilt für die Tabellen 3a - e.
Messungen nach trockener und feuchter Lagerung.

Tab. 3a Aquatin (Durchschnittswerte für die Kantenfestigkeit)

Kavität Nr.	aa. feuchte Lagerung N	aa. feuchte Lagerung Durchschnittl. Kantenabst. in µ	bb. trockene Lagerung N	bb. trockene Lagerung Durchschnittl. Kantenabst. in µ
1	10	33,60	10	24,70
2	10	34,35	10	24,75
3	10	34,75	10	25,00
4	10	36,15	10	22,75
5	10	34,30	10	25,35
6	10	32,75	10	23,60

Durchschnittlicher Kantenabstand

für Aquatin bei jeweils 60 Einzelmessungen mit der Standardkonsistenz (Mischungsverh. 1 : 0,37),
aa. nach feuchter Lagerung : 34,31 µ
bb. nach trockener Lagerung: 24,36 µ

Standardabweichungen: aa. $S_{\bar{x}} = 0,538$
bb. $S_{\bar{x}} = 0,388$

Graphische Darstellungen: Abb. 9aa und 9bb

Tab. 3b Aqua Dentin (Durchschnittswerte für die Kantenfestigkeit)

Kavität Nr.	aa. feuchte Lagerung N	aa. feuchte Lagerung Durchschnittl. Kantenabst. in µ	bb. trockene Lagerung N	bb. trockene Lagerung Durchschnittl. Kantenabst. in µ
1	10	33,20	10	27,30
2	10	31,75	10	25,80
3	10	34,50	10	26,90
4	10	33,15	10	27,10
5	10	34,20	10	26,35
6	10	36,05	10	24,60

Durchschnittlicher Kantenabstand

für Aqua Dentin bei jeweils 60 Einzelmessungen mit der Standardkonsistenz (Mischungsverh. 1 : 0,625),
aa. nach feuchter Lagerung : 34,14 µ
bb. nach trockener Lagerung: 26,34 µ

Standardabweichung: aa. $S_{\bar{x}} = \pm 0,625$
bb. $S_{\bar{x}} = \pm 0,361$

Graphische Darstellung: Abb. 9aa und 9bb

Tab. 3c Plerodont (Durchschnittswerte für die Kantenfestigkeit)

Kavität Nr.	aa. feuchte Lagerung N	aa. feuchte Lagerung Durchschnittl. Kantenabst. in µ	bb. trockene Lagerung N	bb. trockene Lagerung Durchschnittl. Kantenabst. in µ
1	10	18,75	10	14,90
2	10	20,10	10	12,95
3	10	18,60	10	14,80
4	10	19,05	10	14,25
5	10	17,10	10	15,30
6	10	17,95	10	14,05

Durchschnittlicher Kantenabstand

für Plerodont bei jeweils 60 Einzelmessungen mit der Standardkonsistenz (Mischungsverh. 1 : 0,50),
aa. nach feuchter Lagerung : 18,59 µ
bb. nach trockener Lagerung: 14,37 µ

Standardabweichungen: aa. $S_{\bar{x}} = \pm 0{,}495$
bb. $S_{\bar{x}} = \pm 0{,}361$

Graphische Darstellungen: Abb. 9aa und 9bb

Tab. 3d Ultraphos (Durchschnittswerte für die Kantenfestigkeit)

Kavität Nr.	aa. feuchte Lagerung N	aa. feuchte Lagerung Durchschnittl. Kantenabst. in µ	bb. trockene Lagerung N	bb. trockene Lagerung Durchschnittl. Kantenabst. in µ
1	10	23,30	10	16,75
2	10	21,80	10	18,00
3	10	22,90	10	16,45
4	10	23,20	10	16,05
5	10	23,60	10	16,35
6	10	22,05	10	15,90

Durchschnittlicher Kantenabstand

für Ultraphos bei jeweils 60 Einzelmessungen mit der Standardkonsistenz (Mischungsverh. 1 : 0,625),
aa. nach feuchter Lagerung : 22,81 µ
bb. nach trockener Lagerung: 16,58 µ

Standardabweichungen: aa. $S_{\bar{x}} = \pm 0,285$
bb. $S_{\bar{x}} = \pm 0,316$

Graphische Darstellungen: Abb. 9aa und 9bb

Tab. 3e Zinkoxyd-Nelkenöl (Durchschnittswerte für die Kantenfestigkeit)

Kavität Nr.	aa. feuchte Lagerung N	aa. feuchte Lagerung Durchschnittl. Kantenabst. in µ	bb. trockene Lagerung N	bb. trockene Lagerung Durchschnittl. Kantenabst. in µ
1	10	107,85	10	85,80
2	10	105,10	10	79,05
3	10	103,65	10	83,60
4	10	107,55	10	79,15
5	10	108,90	10	80,35
6	10	107,70	10	79,75

Durchschnittlicher Kantenabstand

für Zinkoxyd-Nelkenöl bei jeweils 60 Einzelmessungen mit der Standardkonsistenz (Mischungsverh. 1 : 0,080),
aa. nach feuchter Lagerung : 106,79 µ
bb. nach trockener Lagerung: 81,28 µ

Standardabweichungen: aa. $S_{\bar{x}} = \pm 0,832$
bb. $S_{\bar{x}} = \pm 0,728$

Graphische Darstellungen: Abb. 9aa und 9bb

Tab. 3f Cavit - W (Durchschnittswerte für die Kantenfestigkeit)

Kavität Nr.	aa. feuchte Lagerung N	aa. feuchte Lagerung Durchschnittl. Kantenabst. in µ	bb. trockene Lagerung N	bb. trockene Lagerung Durchschnittl. Kantenabst. in µ
1	10	66,05	10	108,70
2	10	69,40	10	106,90
3	10	66,55	10	106,80
4	10	65,25	10	105,65
5	10	66,35	10	109,05
6	10	68,15	10	108,80

Durchschnittlicher Kantenabstand

für Cavit - W bei jeweils 60 Einzelmessungen:
aa. nach feuchter Lagerung : 66,95 µ
bb. nach trockener Lagerung: 107,65 µ

Standardabweichungen: aa. $S_{\bar{x}} = \pm 0,548$
bb. $S_{\bar{x}} = \pm 0,566$

Graphische Darstellungen: Abb. 9aa und 9bb

Tab. 3g Guttapercha (Durchschnittswerte für die Ausdehnung)

Da Guttapercha nicht brach, wurde die Ausdehnung vom ursprünglichen Kavitätenrand nach außen gemessen, wobei der Mittelpunkt des letzten Eindruckes 25 µ vor demselben lag.

Kavität Nr.	aa. feuchte Lagerung N	aa. feuchte Lagerung Durchschnittl. Ausdehnung in µ	bb. trockene Lagerung N	bb. trockene Lagerung Durchschnittl. Ausdehnung in µ
1	10	15,35	10	11,00
2	10	19,45	10	9,30
3	10	20,70	10	12,40
4	10	15,25	10	10,30
5	10	15,50	10	12,05
6	10	16,45	10	9,80

Durchschnittliche Ausdehnung

für Guttapercha bei jeweils 60 Einzelmessungen:
aa. nach feuchter Lagerung : 17,11 µ
bb. nach trockener Lagerung: 10,80 µ

Standardabweichungen: aa. $S_{\bar{x}} = \pm 0,975$
bb. $S_{\bar{x}} = \pm 0,519$

Anmerkung zu den Tabellen 9aa und 9bb

Zur übersichtlicheren Darstellung der Kantenfestigkeit gilt folgendes:

Es wurde ein maximaler Kantenabstand von 1 000 µ angenommen, der einer minimalen Kantenfestigkeit von 0 entspricht. Die Differenz zum jeweiligen durchschnittlichen Kantenabstand entspricht dann einem bestimmten Kantenfestigkeitsgrad.

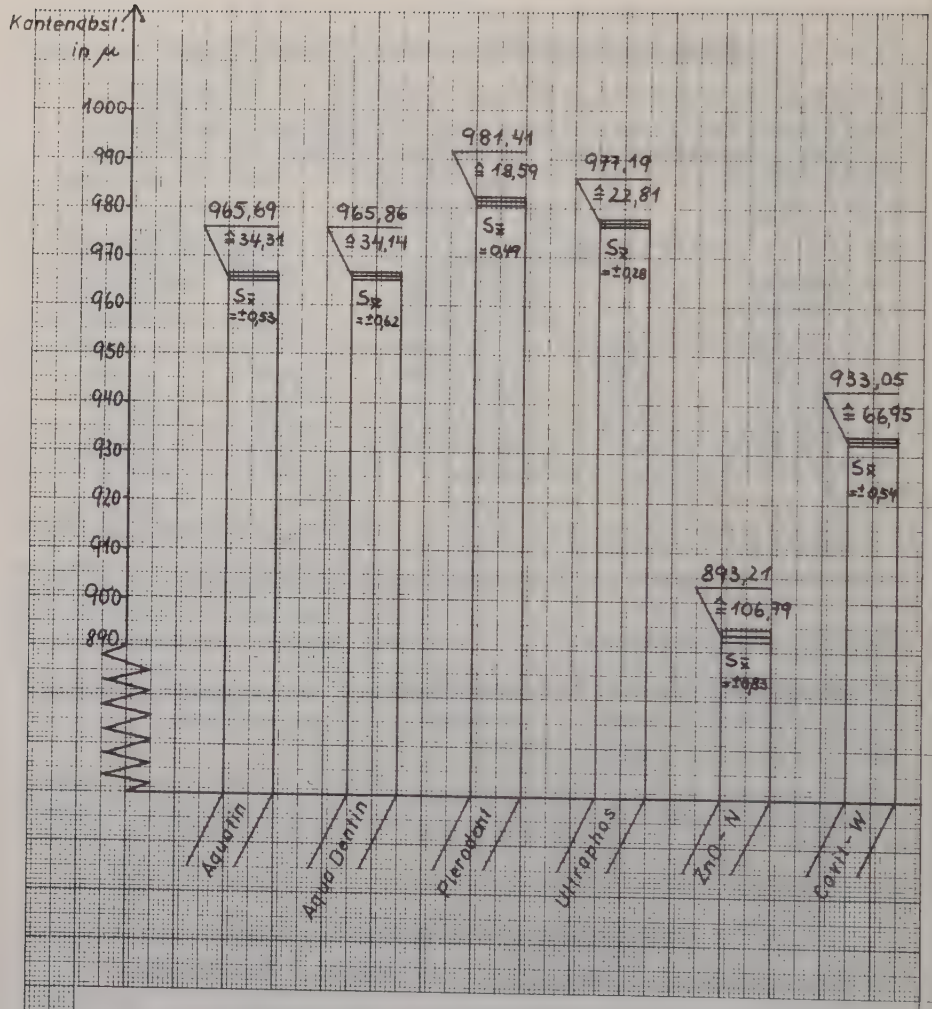

Abb. 9aa Kantenfestigkeitsvergleich
(Untersuchungen nach feuchter Lagerung; nach 60 Einzelmessungen).

Durchschnittlicher Abstand des Einbruchs vom freien Kavitätenrand in µ (Kantenabstand) und seine Standardabweichung.

Guttapercha konnte graphisch nicht dargestellt werden.

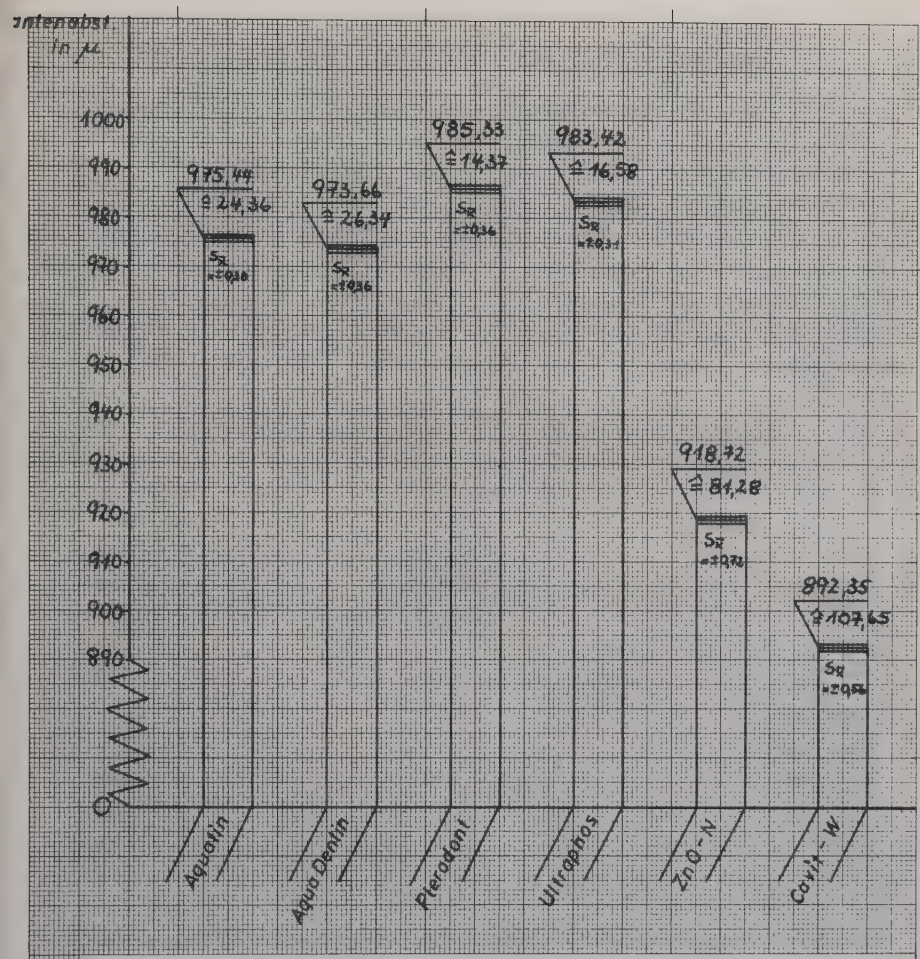

Abb. 9bb Kantenfestigkeitsvergleich
(Untersuchungen nach trockener Lagerung; jeweils 60 Einzelmessungen).

Durchschnittlicher Abstand des Einbruchs vom freien Kavitätenrand in µ (Kantenabstand) und seine Standardabweichung.

Guttapercha konnte graphisch nicht dargestellt werden.

3. ADHÄSIONSVERGLEICH

Verwendung der jeweiligen Standardkonsistenz für Aquatin, Aqua Dentin, Plerodont, Ultraphos und Zinkoxyd-Nelkenöl.
Direkte Verarbeitung von Cavit - W, Pro - 17 und Guttapercha.
In der Tabelle 4 haben wir die Minimum- und Maximum-Werte der Abzugskraft (P) in Pond festgehalten. Durchschnittswerte wurden nicht bestimmt, da die Differenzen zwischen Minimum - und Maximum-Werten zu groß waren und die Einzelwerte zu sehr voneinander abwichen.
Alle Materialien kamen auch - auf feuchtes Dentin gestopft - zur Untersuchung, ließen aber ohne Ausnahme keine Messungen zu.

Tab. 4 Minimum- und Maximum-Werte der Abzugskraft (P)
(Zusammenfassung aller Materialien)

Material	a. feuchte Lagerung N	Abzugskraft (P) in Pond	b. trockene Lagerung N	Abzugskraft (P) in Pond
Aquatin	10	0	10	3 - 85
Aqua Dentin	10	0	10	12 - 65
Plerodont	10	73 - 435	10	112 - 389
Ultraphos	10	33 - 227	10	47 - 278
Zinkoxyd-Nelkenöl	10	0	10	32 - 88
Cavit - W	10	0	10	9 - 62
Pro - 17	10	0	10	0
Guttapercha	10	0	10	33 - 215

Graphische Darstellung zu b.: Abb. 10

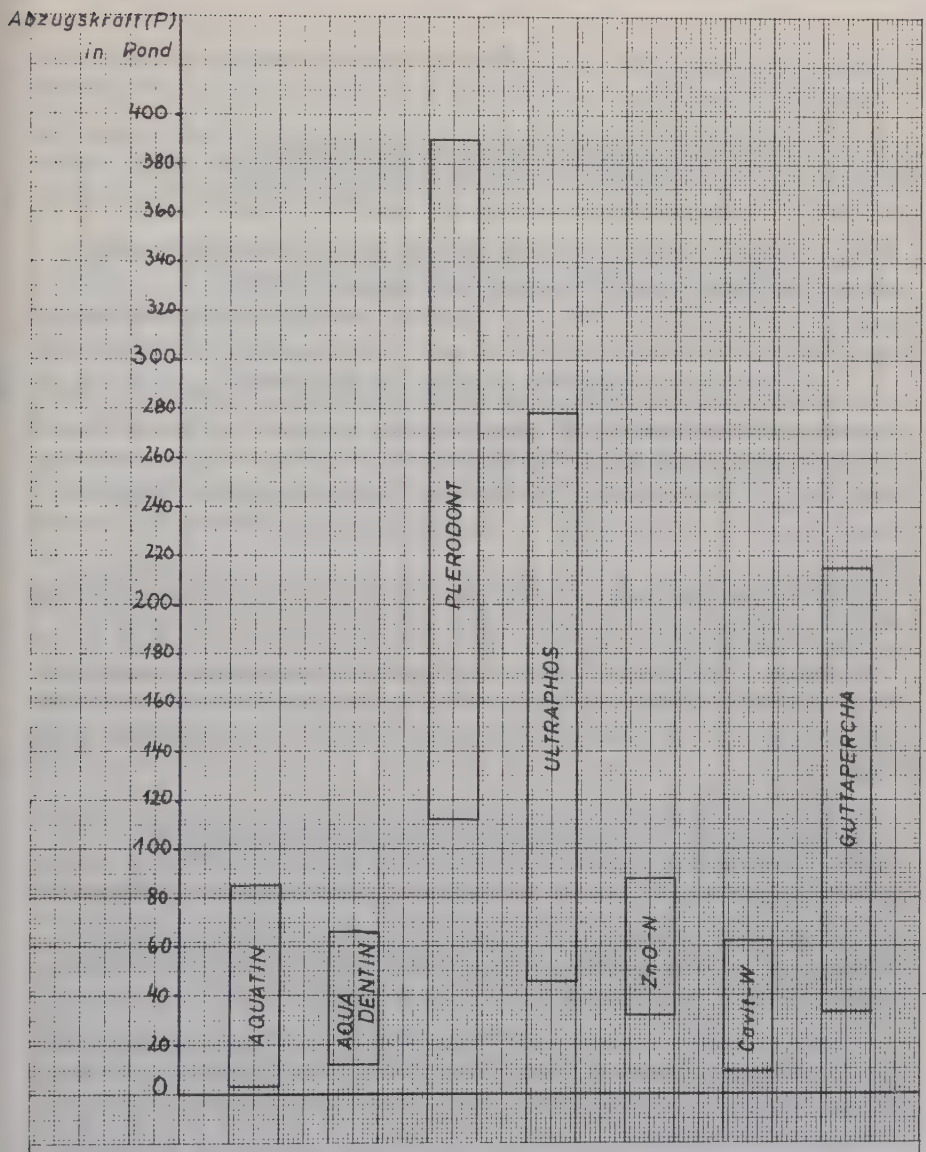

Abb. 10 Adhäsionsvergleich

Minimum- und Maximum-Werte der Abzugskraft (P) in Pond (nach trockener Lagerung) bei 10 Einzelmessungen für jedes Material.

V. DISKUSSION DER ERGEBNISSE

Leider konnten in der Fachliteratur keine vergleichbaren Ergebnisse zur Untersuchung provisorischer Füllmaterialien gefunden werden.
Daher wollen wir uns auf die eigenen Ergebnisse beschränken und diese kritisch betrachten.

Für die Materialien Aquatin, Aqua Dentin, Plerodont, Ultraphos und Zinkoxyd-Nelkenöl wurde zunächst eine Standardkonsistenz bestimmt, um gleiche Voraussetzungen für alle Versuche zu schaffen.
Dabei konnten wir nachweisen, daß die Härte mit abnehmendem Flüssigkeitsanteil steigt. Das Optimum wird bei einer gerade noch füllbaren Konsistenz erreicht.
Dies bedeutet für die Praxis, daß diese Materialien möglichst zäh und fest angemischt werden sollten und daß sehr schnell und sicher gearbeitet werden muß.

Die Härtemeßmethode, die unter mundähnlichen Bedingungen durchgeführt und in physikalischen Grundeinheiten (HV in kg/mm^2) ausgewertet wurde, läßt ohne Weiteres einen maßstäblichen Vergleich zwischen den untersuchten Materialien zu.

Für die Kantenfestigkeit werden die Werte nach feuchter Lagerung diskutiert, da nur diese Bedingung den natürlichen Verhältnissen nahekommt.

Die Adhäsionsmessungen, die nur für trockene Dentinflächen und trockene Bedingungen möglich waren, besitzen damit lediglich begrenzte praktische Bedeutung. Die Retention eines provisorischen Kavitätenverbandes muß selbstverständlich immer durch die Kavitätenform gesichert sein.

Es konnte eindeutig festgestellt werden, daß die Zinkoxyphosphatzemente Plerodont und Ultraphos für alle drei Untersuchungsfaktoren Härte, Kantenfestigkeit und Adhäsion klare Vorteile gegenüber den anderen Materialen aufweisen.

Ihr Indikationsgebiet ist dadurch sehr groß, z.B. kommen nur sie für einen länger dauernden provisorischen Verband in Frage, denn der Widerstand, den sie der Kaukraft entgegensetzen, ist genügend groß. Von eminenter Bedeutung sind die Eigenschaften für kontaktfrei stehende Zähne oder um ein Zusammenwandern präparierter Zähne zu verhindern. Durch die große Härte ist die Erhaltung der

ursprünglichen Zahnform ebenfalls weitgehend gesichert, so daß parodontale Schäden als Folge einer Dysfunktion weitgehend ausgeschaltet werden können.

Bei allen diesen Vorteilen darf aber nicht die schwierige Entfernbarkeit übersehen werden. Zwangsläufig müssen die meisten Füllungen dieser Art ausgebohrt werden, was für Behandler und Patient gleich unangenehm ist.

In dieser Hinsicht bieten die Zinkoxysulfatzemente Aquatin und Aqua Dentin Vorteile, denn sie können wegen ihrer geringeren Härte in nahezu allen Fällen mit der Sonde entfernt werden.
Zeitlich gesehen bieten sie aber nicht die gleiche Indikationsbreite, denn nicht nur die Härte-, sondern auch die Kantenfestigkeitswerte lagen niedriger.

Als sehr mangelhaft erwies sich ihre Adhäsion. Sie bilden am Kavitätenboden eine schmierige, keine in sich geschlossene Fläche, so daß nach Erhärtung nur einzelne Materialteile am Dentin haften bleiben. Für eine sichere Retention ist also hier die Kavitätenform entscheidend.

Demgegenüber hat Guttapercha eine Haftintensität, die man mit den Zinkoxyphosphatzementen vergleichen kann. Ein weiterer Vorteil, den sie bieten, ist die leichte und komplikationslose Entfernbarkeit, was bei Kavitäten mit Unterfüllungen sehr angenehm ist.
Der Grund dafür ist in der geringen Härte zu suchen, denn von allen meßbaren Materialien zeigte sie die niedrigsten Werte.
Ein Kontraindikation sind die kontaktfrei stehenden Zähne. Im Kantenfestigkeitsvergleich stellten wir nämlich fest, daß sie nicht bricht sondern sich nur ausdehnt. Dadurch wird das Material bei der Kaubelastung im Ganzen aus der Kavität gedrückt. Vorteilhaft aber wirkt sich diese leichte Dehnbarkeit zur Verdrängung des Zahnfleisches aus.

Cavit - W nimmt nach den Ergebnissen aller drei Untersuchungsfaktoren einen Mittelplatz unter den Materialien ein. Bewiesenermaßen erhärtet es unter Zutritt von Speichel wesentlich besser. Neben diesem Vorteil ist noch die schnelle und sichere Verarbeitung hervorzuheben.
Aus diesen Gründen ist es als kurzfristiges Verschlußmittel zu akzeptieren.

Pro - 17, das als weiteres plastisches Material zur Untersuchung kam, konnte die gestellten Anforderungen nicht erfüllen. Bei den Adhäsionsmessungen z.B. riß das Material schon durch das Eigengewicht in sich ab. Der Grund dafür ist wohl in der Inhomogenität des Materials (selbst nach hohem Stopfdruck) zu suchen.

Die gewebefreundliche Wirkung von Zinkoxyd-Nelkenöl, jedenfalls bei großem

Pulveranteil, ist allgemein bekannt. Deshalb ist es in therapeutischer Beziehung heute in der Konservierenden Zahnheilkunde unentbehrlich geworden. In Bezug auf unsere Ergebnisse schnitt es nicht sehr vorteilhaft ab. Dazu muß allerdings gesagt werden, daß die Messungen schon nach 24 Stunden erfolgten und somit bei der langen Erhärtungsdauer dieses Materials kein endgültiger Schluß gezogen werden kann.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß es bis heute noch kein provisorisches Füllmaterial gibt, das allen Anforderungen gerecht wird.

Für die Praxis ist es wichtig, bei der Vielzahl der angebotenen Materialien, die richtige Auswahl zu treffen und das jeweilige Indikationsgebiet abzuschätzen.

VI. ZUSAMMENFASSUNG

Die vorliegende Arbeit befaßt sich mit der Härte, Kantenfestigkeit und Adhäsion der provisorischen Füllmaterialien Aquatin, Aqua Dentin, Plerodont, Ultraphos, Zinkoxyd-Nelkenöl, Cavit - W, Pro - 17 und Guttapercha.

Folgende Ergebnisse wurden erzielt:

1. HÄRTE

Die Untersuchungen wurden mittels Mirkohärtemessungen mit dem Kleinhärteprüfer "DURIMET" durchgeführt.
Die Werte wurden in VICKERS-Härte HV in kg/mm^2 angegeben.

Für jedes Material wurden 80 Einzelmessungen an 8 verschiedenen Kavitäten nach 24stündiger Lagerung im Brutschrank bei 37° C ausgewertet.

Als Materialien mit der größten Härte erwiesen sich die Zinkoxyphosphatzemente (Ultraphos und Plerodont).
Im Vergleich dazu zeigten die Zinkoxysulfatzemente deutlich geringere Härte.
Zinkoxyd-Nelkenöl und Cavit - W, die den gleichen Härtewert aufwiesen, lagen doch deutlicher zurück.
Guttapercha hatte von den meßbaren Materialien die geringste Härte.
Pro - 17 dagegen besaß keine genügende Härte, um mit den angewandten Methoden noch meßbar zu sein.

2. KANTENFESTIGKEIT

Die Messungen wurden ebenfalls mit dem Kleinhärteprüfer "DURIMET" durchgeführt. Die Festlegung der Werte erfolgte durch den Abstand des Eindruckes vom freien Kavitätenrand in µ.

Für jedes Material wurden an 12 Kavitäten 120 Einzelmessungen durchgeführt, wobei zuvor jeweils 6 Kavitäten feucht bzw. trocken gelagert wurden.

a) Feuchte Lagerung:

Die Zinkoxyphosphatzemente (Plerodont und Ultraphos) wiesen die größte Widerstandsfähigkeit auf.

Die Zinkoxysulfatzemente (Aqua Dentin und Aquatin) konnten wiederum, jedoch mit deutlichem Abstand, dahinter eingestuft werden.
Im Gegensatz zur Härtemessung schnitt Cavit - W gegenüber Zinkoxyd-Nelkenöl wesentlich besser ab.

b) Trockene Lagerung:

Mit Ausnahme von Cavit - W ergaben sich nach trockener Lagerung für alle Materialien kleinere Werte. Die Reihenfolge blieb mit geringen Varianten gleich.

Bei Guttapercha, die nicht brach, wurde die Ausdehnung vom ursprünglichen Kavitätenrand nach außen gemessen. Dabei lag der Mittelpunkt des letzten Eindruckes 25 µ vor dem Rand.
Die Werte konnten ungefähr in den Bereich der Zinkoxyphosphatzemente eingereiht werden, ließen damit aber keinen direkten Vergleich zu.

Pro - 17 lag wiederum außerhalb des meßbaren Bereiches.

3. ADHÄSION

Festgelegt wurden die Minimum- und Maximum-Werte der Abzugskraft (P) in Pond, da die Einzelwerte zu sehr differierten.

Für jedes Material wurden jeweils 10 Einzelmessungen angestellt.

a) Die Proben ließen, auf feuchtes Dentin gestopft, ohne Ausnahme keine Messungen zu.

b) Eine Messung, nach Stopfen auf trockenes Dentin, aber nach feuchter Lagerung, war nur für Plerodont und Ultraphos möglich.

c) Messungen, nach Stopfen auf trockenes Dentin und trockener Lagerung, kamen, mit Ausnahme von Pro - 17, für alle Materialien zustande.

Auch hier zeichneten sich Plerodont und Ultraphos aus.
Nur Guttapercha erzielte annähernd gleiche Werte.
Die Werte für Zinkoxyd-Nelkenöl, Aqua Dentin, Cavit - W und Aquatin lagen, in der hier angeführten Reihenfolge, weit darunter.

Zum Schluß der Arbeit erlaube ich mir,
Herrn Professor Dr. A. Kröncke
für die Überlassung des Themas und für
seine Anleitung zu dieser Arbeit
herzlich zu danken.

VII. SCHRIFTTUM

1. BLUME, BODO B. — Mikrohärtemessungen in Vickerseinheiten mit dem Kleinhärteprüfer "DURIMET". Inaug. Diss. Bonn, 1954

2. BURKHARD, E. und EFFINGER, A. — Festigkeits- und Kontraktionsmessungen an Gitterwerkstoffen. Dtsch. Zahnärztebl. 8, 137 (1954)

3. DIETERLE, H. — Überprüfung der physikalisch-mechanischen Eigenschaften des Cadurit als Zahnfüllungswerkstoff. Inaug. Diss. Berlin, 1961

4. DRESSLER, H. — Mechanisch-physikalische Untersuchungen von zehn Silikatzementen. Dtsch. Zahnärztl. Z. 19, 820 (1964)

5. GERLACH, H. — Über das Verschlußmittel Plerodont. Zahnärztl. Rdsch. 39, 20 (1930)

6. HÄUPL, K. — Lehrbuch der Zahnheilkunde Bd. 1 Wien 1949 Verlag Urban u. Schwarzenberg, Wien

7. HÄUPL, K., MEYER, W. und SCHUCHARDT, K. — Die Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde 2. Bd. Verlag Urban u. Schwarzenberg München/ Berlin 1955

8. HATTEMER, W.N. — Über die Kantenfestigkeit einiger Füllungswerkstoffe. Zahnärztl. Rdsch. 66, 135 (1957)

9. HATTEMER, A. und KÜBEL, K. — Zur Frage der Prüfungsvorschriften für zahnärztliche Werkstoffe. Dtsch. Zahnärztl. Z. 5, 1031 (1950)

10. HODGE, H.C. — Hardness Tests of Teeth J. dent. Res. 15, 271 (1936)

11. KNAPPWOST, A. — Eigenschaften und Aufbau von Gitterwerkstoffen. Dtsch. Zahnärztl. Z. 9, 313 (1954)

12. KULKA, M. — Über die wichtigsten mechanischen und einige chemische Eigenschaften der Silikat- und Zinkphosphatzemente. Öst. Ung. Vschr. Zahnheilk. 23, 568 (1907)

13. KUNERT, W. — Neue Untersuchungen über Phosphatzemente unter Berücksichtigung der Volumenbeständigkeit und Klebkraft. Inaug. Diss. Köln, 1939

14. LAURY, E. — Provisoria Zahnärztl. Rdsch. 39, 1760 (1930)

15. ERNST LEITZ GmbH — Der Kleinhärteprüfer DURIMET Anleitung Wetzlar 1959

16. LIGNITZ, H. — Eine Exakte Methode zur Prüfung der Härte zahnärztlicher Materialien. Dtsch. Mschr. Zahnheilk. 40, 1 (1922)

17. LOCKOWANDT, P. und STÜBEN, J. — Experimentelle Untersuchungen über die Haftintensität der schnellhärtenden Kunststoffe. Zahnärztl. Welt 7, 298 (1952)

18. MILLER'S, W.D. — Lehrbuch der Konservierenden Zahnheilkunde. Herausgeg. von Dr. med. W. Dieck 4. umgearbeitete Auflage, Leipzig 1908 Verlag Georg Thieme

19. MÖLLER, R. — Plerodont-Robisch, ein neues deutsches Verschlußzement. Dtsch. Zahnärztl. Wschr. 19, 487 (1916)

20. MORGENSTERN, M. — Untersuchungen der Silikat- und Zinkphosphatzemente unter besonderer Berücksichtigung ihrer physikalischen Eigenschaften. Öst. Ung. Vschr. Zahnheilk. 21, 514 (1905)

21. PRÖLL, F. — Experimentelle Untersuchungen über die Ursache des Zahnpulpentodes unter Silikatzementen nebst theoretisch-praktischen Studien über Zemente und andere Füllmaterialien. Dtsch. Mschr. Zahnheilk. 31, 97 (1913)

22. RICHTER, H. — Über Ritz- und Kugeldruckhärte an harten Zahnhartsubstanzen - ein kritischer Vergleich. Stomat. 29, 591 (1931)

23. RICHTER, R. — Weitere Erfahrungen und Versuche mit Silikatzementen. Dtsch. Mschr. Zahnheilk. 28, 430 (1910)

24. SCHÖNBECK, F. — Zahnärztliche Werkstoffkunde Leipzig 1942 Joh. A. Barth-Verlag

25. SIEBEL, E. — Handbuch der Werkstoffprüfung 2. Bd. Springer-Verlag Berlin/Göttingen/Heidelberg 1955

26. SOBKOWIAK, E.-M. — Über Erfahrungen mit der direkten Überkappung unter Verwendung des Zinkoxyd-Eugenols bzw. Zinkoxyd-Nelkenöls als Wundverband. Zahnärztl. Rdsch. 71, 255 (1962)

27. SPANNER, J. — Klebrigkeit und Haftfestigkeit von Zinkphosphatzementen. Dtsch. Zahnärztl. Wschr. 33, 1253 (1930)

28. STERNER-RAINER — Edelmetallegierungen und Amalgame in der Zahnheilkunde. Berlin 1930 Verlag H. Meusser

29. WANNENMACHER, E. — Zahnerhaltungskunde in: HOFER, REICHENBACH, SPRETER v. KREUDENSTEIN, WANNENMACHER: Lehrbuch der klinischen Zahnheilkunde 2. Bd. Leipzig 1963 Joh. A. Barth - Verlag

30. WEBER, E. Grundriß der biologischen Statistik 2. Aufl., Jena 1956
Gustav-Fischer-Verlag

31. WEIKART, P. Zur Frage der Prüfungsvorschriften für zahnärztliche Werkstoffe.
Dtsch. Zahnärztl. Z. 9, 1550 (1954)

Lebenslauf

Als Sohn des Zahnarztes Dr. Eduard Mutschelknauß und seiner Ehefrau Margarete, geb. Ölschläger, wurde ich, Jörg Mutschelknauß, am 3.8.1938 in Pforzheim geboren.

Die Grundschule besuchte ich von 1946 - 1950 in Wangen/Allgäu. Danach übersiedelten meine Eltern nach Stuttgart. Dort besuchte ich das Zeppelin-Gymnasium, wo ich im Frühjahr 1960 die Reifeprüfung ablegte.

Im Sommersemester 1960 wurde ich zum Studium der Zahnheilkunde an der Johannes Gutenberg Universität Mainz immatrikuliert.
Im Wintersemester 1960/61 wechselte ich an die Universität München. Hier bestand ich am 30. Oktober 1962 die Zahnärztliche Vorprüfung. Nach einem weiteren Semester in München setzte ich im Sommersemester 1963 meine Studien an der Freien Universität Berlin fort.

Vom Wintersemester 1963/64 bis Wintersemester 1964/65 war ich an der Eberhard Karls Universität Tübingen immatrikuliert.
Hier legte ich im Frühjahr 1965 das Zahnärztliche Staatsexamen ab.